

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(43) 国际公布日:

2005年9月9日(09.09.2005)

PCT

(10) 国际公布号:

WO 2005/083447 A1

- (51) 国际分类号⁷: G01N 35/00
- (21) 国际申请号: PCT/CN2005/000243
- (22) 国际申请日: 2005年2月28日(28.02.2005)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
200410025892.7 2004年2月27日(27.02.2004) CN
- (71)(72) 发明人/申请人: 王砧(WANG, Zhen) [CN/CN];
中国陕西省西安市高新区科技路亚美大厦3901,
Shanxi 710075 (CN).
- (74) 代理人: 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
(CCPIT PATENT AND TRADEMARK LAW
OFFICE); 中国北京市阜成门外大街2号万通新世界
广场8层, Beijing 100037 (CN).
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护):
AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR,
- HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN,
MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL,
PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU,
ZA, ZM, ZW
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护):
ARIPO(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚专利(AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲专利(AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), OAPI(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)
- 根据细则4.17的声明:
— 关于申请人在国际申请日有权要求该在先申请的优先
权(细则4.17(iii))对所有指定国
- 本国际公布:
— 包括国际检索报告。
- 所引用双字母代码和其它缩写符号, 请参考刊登在每期
PCT公报期刊起始的“代码及缩写符号简要说明”。

(54) Title: ON-LINE MONITORING METHOD AND DEVICE FOR A FOSSIL FUEL CONVERTER APPARATUS

(54) 发明名称: 化石燃料换能设备的在线监测方法和装置

(57) Abstract: A method and a device for a fossil fuel converter apparatus, are used for the field of on-line monitoring fuel performance and efficiency in power station. This method carries out the real-time monitoring of the fuel compositions by measuring the operating data of the apparatus, and includes the following steps: determining reactant compositions and their variable numbers; determining fuel compositions and their variable numbers; determining unburnt resultant compositions and their variable numbers; determining the relationship between the fuel compositions and heating values; establishing a set of equations concerning to fuel, reactant and resultant compositions, basing on an energy balance relationship and a material balance relationship of the burning process; providing given conditions concerning to an independent relationship of variables for the set of equations; measuring the boiler operating data, and assigning values to the variables of the set of equations, wherein the sum of the variable numbers assigned by values and the given conditions numbers equals to the sum of reactant compositions, fuel compositions and unburnt resultant compositions variable numbers, so as to achieve the positive definite condition of the set of equations; and solving the set of equations, and obtaining the real-time monitoring data of the apparatus.

(57) 摘要

本发明涉及化石燃料换能设备的在线监测方法和装置, 其中所述方法通过测量换能设备的运行数据和建立的数学模型得到正定解, 而实现化石燃料成分发热量及换能设备的效率和损失的实时监测。主要用于大型电站通过计算机进行在线燃料性质和效率监测及锅炉、机组、机组群优化控制的技术领域。本发明不仅从理论到实际从根本上完整回答和解决了化石燃料换能设备在燃料性质和换能装置效率及损失的实时在线监测的方案, 实现了用完整严谨的数学模型得到唯一解的工程解决方案, 而且提出的方案可以在各种不同的已知条件下实现。由于本发明得到的数据具有实时性、代表性和真实性, 实现了大型电站化石燃料及换能设备性能监测和优化控制系统技术的重大的实质性突破。

化石燃料换能设备的 在线监测方法和装置

技术领域

本发明涉及化石燃料换能设备的在线监测方法和装置，主要用于各种化石燃料换能设备，例如大型发电站，通过计算机和在线运行数据对于燃料性质和换能过程效率和损失情况进行在线监测和仿真及优化控制的技术领域。

背景技术

各种化石燃料换能设备，都存在燃料性质包括燃料的成分和发热量换能过程的效率和各项损失在线监测从而实现优化控制的需求。化石燃料的成分和发热量由于是一种自然形成的结果必然存在不稳定性和变化性，换能设备的各项效率和损失也存在不稳定性和变化性。对于上述两方面的数据需要及时准确地掌握，而且要求所有的数据相互对应、吻合，即所谓的闭合解，具有重要的应用价值。

在现有技术中，对于煤和油这样的化石燃料，存在燃料性质不能在线监测，由此换能装置的效率和损失难于精确测量的问题。对于气体燃料，尽管可以通过气相色谱仪等设备进行燃料性质的在线监测，但并不能完成换能装置效率和损失的精确测量或取得闭合解。

例如大型煤粉炉发电机组、机组群的优化控制技术，包括锅炉优化控制，是一个世界范围的难题，其中煤粉燃烧锅炉效率和煤质的实时在线监测是根本障碍。由于不能掌握锅炉的效率，整个机组、机组群的耗煤、发电成本的在线监测及优化控制失去了根本依据。由于锅炉效率的监测需要煤质数据，因此没有实时在

线的煤质监测，锅炉的效率监测就无法解决。

目前，世界上锅炉效率在线监测技术仍然要依靠煤质化验数据。由于煤质化验不可能是实时和对应的，锅炉效率监测的误差范围达到 $\pm 2\%$ ，已经超出了锅炉效率的实际变化范围，申请人认为这个范围通常只有 $\pm 1.5\%$ 。

因此锅炉效率监测的关键在于煤质监测。利用核技术在燃运车间输煤皮带上对于煤质进行在线监测的技术已经在很少的电站投入了正常应用。但是由于该项技术的应用成本较高，包括核安全成本、购置成本、维护成本，及监测实时性较差，因此没有用于每台机组的给煤机的应用实例，同时由于煤在料斗中的运动不是先进先出、从输煤皮带上倒给煤机之间的输出顺序为随机关系，从而不能解决锅炉效率和煤质在线监测面临的问题。

中国专利 99112866.4 提出了一种依据一些锅炉运行数据通过计算机软件在线对锅炉效率分析的求解方法，试图通过特异的推导过程找到锅炉效率的计算方法，但是由于推导过程的原则性错误，其计算的机械不完全燃烧损失结果与实际规律会严重偏离。

中国专利 02110116.7 提出了一种依据一些锅炉运行数据通过计算机软件在线对锅炉燃烧中的煤的元素分析及效率分析的联合求解方法。根据申请人的研究，该技术所提供的方法的数学模型的独立变量的个数多于给定的独立已知条件的个数，锅炉运行数据限定的解不是唯一的，得到的煤质和效率的解与实际值之间没有代表性，因此该方法没有真正解决煤粉燃烧锅炉煤质在线监测问题，没有实用性，因此该技术方案是无效的。

作为数学对象，煤粉锅炉燃烧是多变量、多层次、交叉性、工程性、实践性、多学科、多专业的对象，要将这个对象完全研究清楚，对于任何机构和个人或全社会，都是长期艰巨的任务。现有技术都是将实际并不平衡的锅炉过程近似作为一个平衡的对

象，通过能量平衡和物质平衡对于锅炉效率或煤质进行解析。申请人认为这个方向是正确的。但是现有技术没有形成完整的、透彻的理论。现有技术无效的根本原因，在于理论上没有达到锅炉燃烧平衡数学模型的总体的正确认识和正确构成方程组方法、独立变量的个数的判断和求得精确正确解的条件。因此未能建立有效的数学模型和解决方案，也因此未能形成有效的并能够被普通技术人员理解和认可的研究成果。要找到有效的锅炉效率或煤质在线监测技术方案，必须进行深入、完整、长期的创造型技术劳动：既包括远远超出本领域普通技术人员的涉猎范围，全面理解和认识锅炉燃烧、传热、煤质学、数学的理论和所有有关的工程实际，从而形成完整的、透彻的理论，也包括基于这种理论建立的有效的数学模型和解决方案。这正是现有技术没有做到的。

发明内容

为了解决现有技术中的上述技术问题，本发明提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法和装置，其中通过换能过程运行数据和计算机进行换能设备的平衡解析实现化石燃料性质及换能设备效率及损失在线监测的正确方法。

例如煤粉燃烧锅炉，本发明通过计算机进行锅炉平衡解析实现煤粉燃烧锅炉效率和煤质在线监测的正确方法的完整集合。即依据不同的工业实际条件、不同锅炉运行数据组合，不依赖煤质化验数据、仅通过锅炉运行数据或给定数据，实时在线计算出煤质数据，同时有效的计算出锅炉各项损失和效率的方法集合，包括多种完整的、最大程度上有效的锅炉平衡方程组。从而为锅炉、机组、机组群的优化控制提供充分有效的测量依据。

根据本发明的第一方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，通过测量换能设备的运行数据而实现化石燃料成分的

实时监测，其特征在于所述在线监测方法包括以下步骤，**a**) 确定反应剂成分及其变量数；**b**) 确定化石燃料成分及其变量数；**c**) 确定生成物中的未燃尽生成物成分及其变量数；**d**) 确定化石燃料成分与发热量之间的关系；**e**) 根据燃烧过程的能量平衡关系和物质平衡关系，建立有关化石燃料成分、反应剂成分和生成物成分的方程组；**f**) 提供用于上述方程组的给定条件，其中所述给定条件是有关上述方程组中的变量的独立关系；**g**) 测量锅炉运行数据，对上述方程组的变量进行赋值，其中被赋值的变量数与上述的给定条件数之和等于反应剂成分变量数、化石燃料成分变量数以及未燃尽生成物成分变量数之和，以达到该程组的正定条件；**h**) 求解该方程组，获得化石燃料换能设备的实时监测数据。

根据本发明的第二方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第一方面中的所述化石燃料是煤。

根据本发明的第三方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第二方面中的所述化石燃料换能设备是燃煤锅炉，反应剂为空气：在步骤**a**) 中，空气成分包括恒定比例的氧气、氮气和水蒸气，设定氢、二氧化碳、氩微量气体的含量为零；在步骤**c**) 中，设定灰渣比和炉渣含碳量的变化为零，设定烟气中氮氧化物含量为零；在步骤**b**) 中，确定煤质的元素分析成分为 C、H、O、N、S、M、A；在步骤**d**) 中，所述关系为门捷列夫方程或其它由上述元素成分表达的煤的发热量经验方程；在步骤**e**) 中，根据燃烧过程的能量平衡关系：煤的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和，制粉系统热平衡；物质平衡关系：元素 C 的量等于烟气中的 CO₂、CO 成分与灰渣中的未燃尽碳所含元素 C 的量；元素 S 的量等于烟气中的 SO₂ 成分所含元素 S 的量；烟气中的水蒸气质量等于 H 燃烧生成的水、空气中的水与煤中的 M 之和；空气氧气量与煤中的元素 O 生成的氧

气量之和应于 SO_2 、 CO_2 、 CO 氧化消耗的氧气量、元素 H 燃烧的氧气在与烟气中剩余的氧气之和；空气氮气量与煤中的元素 N 生成的氮气量之和应等于烟气中氮气量；锅炉的灰渣之和等于煤中的 A；建立方程组；在步骤 f) 中，所述给定条件为：元素 H、N 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；元素 C、O 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；以及元素 C、H 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；在步骤 g) 中，测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件，达到该方程组的正定条件为：在以下测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件下选择：根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；总进煤量；总进风量；干烟气量；飞灰量、炉渣量或煤的灰份；飞灰含碳量；干烟气的 SO_2 含量；干烟气的 O_2 含量；干烟气的 CO 含量；干烟气的 CO_2 含量；干烟气的 N_2 含量；以及烟气中水的含量。

根据本发明的第四方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第三方面中：在步骤 g) 中，所述测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件，达到该方程组的正定条件为：在以下测量锅炉运行数据形成方程组得限定条件下选择：根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；总进煤量；总进风量；干烟气量；飞灰量、炉渣量或煤的灰份；飞灰含碳量；干烟气的 SO_2 含量；干烟气的 O_2 含量；干烟气的 CO 含量；干烟气的 CO_2 含量；干烟气的 N_2 含量；烟气中水的含量；根据给定条件的数量，在测量限定条件下选择与给定条件独立的且相互独立的测量限定条件，使给定条件与测量限定条件总数达到十个。

根据本发明的第五方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第四方面中：对于直吹式煤粉燃烧锅炉，

所述的给定条件选取以下三项中的两项：元素 H、N 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；元素 C、O 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；元素 C、H 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；测量的锅炉运行数据形成的限定条件选取以下七项：根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；根据制粉系统的煤量、风量和温度计算得到煤的全水分 M；总进煤量；总进风量；干烟气的 SO₂ 含量；干烟气的 O₂ 含量；干烟气的 CO 含量；和以下多项中的一项；干烟气的 CO₂ 含量；干烟气的 N₂ 含量；烟气中水的含量；干烟气量；飞灰含碳量。

根据本发明的第六方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第四方面中：对于中储式煤粉燃烧锅炉，所述的给定条件选取以下三项中的两项：元素 H、N 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；元素 C、O 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；元素 C、H 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；测量的锅炉运行数据形成的限定条件选取以下七项：根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；根据制粉系统的煤量、风量和温度计算得到煤的全水分 M；干烟气的 SO₂ 含量；干烟气的 O₂ 含量；干烟气的 CO 含量；和以下多项中的三项：干烟气的 CO₂ 含量；干烟气的 N₂ 含量；烟气中水的含量；干烟气量；飞灰含碳量。

根据本发明的第七方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第三方面中，对于烟煤，元素成分的回归方程、经验公式或设定关系选取：元素 C、O 之间成分的回归方程；元素 H、N 之间成分的回归方程。

根据本发明的第八方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第三方面中，对于无烟煤，元素成分的回归方程、经验公式或设定关系选取：元素 C、H 之间成分的回归

方程；元素 H、N 之间成分的回归方程。

根据本发明的第九方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第三方面中，对于褐煤，元素成分的回归方程、经验公式或设定关系选取：元素 C、O 之间成分的回归方程；元素 H、N 之间成分的回归方程。

根据本发明的第十方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第三方面，根据煤的元素构成与挥发份的回归方程或经验公式，求出煤的挥发份工业分析结果。

根据本发明的第十一方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第三方面中，所述的：所述方程组可以加入给定条件：煤的可燃基中的 C、H、O、N、S 元素的任两项含量之间比例相对稳定；每公斤可燃基燃烧需要的空气量；每公斤可燃基燃烧生成的干烟气量；每公斤可燃基燃烧生成的热量；每公斤可燃基燃烧的氢元素含量。

根据本发明的第十二方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第三、或十一方面中，所述测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件，达到该方程组的正定条件为：在以下测量锅炉运行数据形成方程组得限定条件中选择六个：根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；总进煤量；总进风量；干烟气量；飞灰量、炉渣量或煤的灰份；飞灰含碳量；干烟气的 O₂ 含量；干烟气的 CO 含量；烟气中水的含量。

根据本发明的第十三方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第十二方面中，对于直吹式煤粉燃烧锅炉，所述的测量的锅炉运行数据形成的限定条件选取以下六项：根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；根据制粉系统的煤量、通风量和温度计量得到煤的全水分 M；总进煤量；总进风

量；干烟气的 O_2 含量；干烟气的 CO 含量。

根据本发明的第十四方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第十二方面中的，对于中储式煤粉燃烧锅炉，所述的测量的锅炉运行数据形成的限定条件选取以下所列中的六项：根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M ；干烟气的 O_2 含量；干烟气的 CO 含量；烟气中水的含量；干烟气量。

根据本发明的第十五方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第一方面中的所述化石燃料是燃气。

根据本发明的第十六方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测方法，其中本发明第一方面中的所述化石燃料是燃油。

根据本发明的第十七方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测装置，包括计算机、采集换能设备运行数据的数据输入通道、以及输出数据显示或输出通道，实现化石燃料换能设备的实时检测，其特征在于，所述在线监测装置包括：存储反应剂成分、化石燃料成分、生成物成分、以及化石燃料成分与发热量之间的关系的装置；用于根据燃烧过程的能量平衡关系和物质平衡关系，存储有关化石燃料成分、反应剂成分和生成物成分的方程组的装置；用于提供用于上述方程组的给定条件的装置，其中所述给定条件是有关上述方程组中的变量关系的方程式；用于根据测量锅炉运行数据对上述方程组的变量进行赋值以形成该方程组的正定条件的装置，其中被赋值的变量数与上述的给定条件数之和等于反应剂成分变量数、化石燃料成分变量数以及未燃尽生成物成分变量数之和；以及 用于求解该方程组以获得化石燃料的实时监测数据的装置。

根据本发明的第十八方面，提供一种化石燃料换能设备的在线监测装置，其中本发明第十七方面中的所述化石燃料换能设备

可以从下面的组中选择：煤粉燃烧锅炉、循环硫化床锅炉、整体煤气化联合循环发电设备、燃气轮机联合循环发电设备、以及燃料电池。

本发明的优点和产生的积极效果：

本发明解决了用换能设备实际运行参数对于燃料成分和发热量以及换能设备的效率和各项损失进行直接在线监测，而取得的所有数据具有精确性和闭合性。同时，所采用的实际运行参数具有极大的灵活性，即，根据实际换能设备条件可以在输入或输出物质成分中任意选择。正定条件的证明：

化石燃料换能设备，联立方程组变量的个数应为独立方程的个数加上独立变量的个数。要实现该方程组的正定解，必须对于方程组的变量进行赋值或给出其它独立关系，赋值和独立关系的总数应为独立变量的个数。独立变量个数应为输入燃料成分数、反应剂（例如空气、脱硫剂、氢气等）的变量数以及输出物质中未完全燃烧成分数之和。

以本发明第三方面所述元素分析模型基本实现方法为基准范例进行分析。

锅炉的输入量包括煤和空气，由于忽略空气成分比例的变化，即，空气为一个独立变量，煤的成分有 C、H、O、N、S、M、A 七种，因此锅炉物质输入成分共有八个独立变量；锅炉输出的物质成分分析：

元素 C 部分生成灰渣中的未燃尽碳；

元素 C 部分不完全燃烧生成 CO；

元素 C 的量等于烟气中的 CO_2 、CO 成分与灰渣中的未燃尽碳所含元素 C 的量相等；

元素 S 的量等于烟气中的 SO_2 成分所含元素 S 的量；

烟气中的水蒸气质量等于 H 燃烧生成的水、空气中的水与煤

中的 M 之和；

空气氧气量与煤中的元素 O 生成的氧气量之和应等于 SO_2 、 CO_2 、CO 氧化消耗的氧气量、元素 H 燃烧的氧气在与烟气中剩余的氧气之和；

空气氮气量与煤中的元素 N 生成的氮气量之和应等于烟气中氮气量；

锅炉的灰渣之和等于煤中的 A。

由此可见，在锅炉输入物质成分经过锅炉燃烧过程中，仅有元素 C 部分生成灰渣中的未燃尽碳的过程以及元素 C 部分不完全燃烧生成 CO 的过程为不确定过程，因此锅炉输出物质成分仅有两个独立变量。

由于锅炉输入热量和各项损失均可由物质成分（和温度，物质温度为必测的量）表达，因此锅炉物质输入输出的独立变量个数即为锅炉的独立变量的个数。对本例，锅炉的独立变量个数为十个。锅炉联立方程组的变量总数为独立方程的个数加上独立变量的个数，为使该方程正定必须给出十个限定条件（即，对变量进行赋值或者给出上述独立方程之外的其它独立关系），上述 4 给出了给定条件与测量条件之和的十个独立限定条件。此证。

复杂或简化的情况可根据增加或减少的独立变量个数推算出实现正定条件的独立已知条件个数，例如 11 所述的工业分析模型基本实现方法为例，由于煤的模型中元素 C、H、O、N、S 的成分的相对比例恒定，独立变量的个数由十个减少至六个。因此正定条件的独立已知条件的个数也仅需六个。因此 12 所述的方程组也是正定的。

本发明的实质是揭示了煤粉燃烧锅炉燃烧平衡数学模型的完整构成和独立变量个数，从而实现了在任何简化条件、任何煤质成分模型下，精确监测锅炉效率和煤质的正确方法。

本发明的实现方法中，分别给出了一种元素分析模型和一种工业分析模型的基本实现方法，这些方法均具备明显的实用性。基于本发明的基本实现方法包括了煤粉燃烧锅炉效率和煤质在线监测的正确方法的集合，即依据不同的工业实际条件得到的不同锅炉运行数据组合、多种形式、系统化、完整化、最大程度上与实际相吻合的精确数学模型，不依赖煤质化验数据、仅通过锅炉运行数据或给定数据，实时在线计算出煤质数据，同时有效地计算出锅炉各项损失和效率的方法集合，从而为锅炉、机组、机组群的优化控制提供充分有效的测量依据。

本发明不仅实现了用完整严谨的数学模型得到锅炉煤质和锅炉效率唯一解的工程解决方案，从理论到实际根本完整回答和解决了锅炉在燃煤煤质和锅炉效率的实时在线监测问题，而且提出的方案可以在各种不同的锅炉运行数据已知条件下实时在线对锅炉在燃煤煤质和效率进行监测。不同的已知条件的完整组合结果达到上千种之多，因此本发明的工程实现方式不胜枚举。

对于实际工程应用和理论研究，本发明均开创了一种重要的、通用的行业标准方法。由于本发明提出的是基于同一理论的多种实际方案，实际应用中对于不同的对象条件，具体方案灵活性很大。

依据本发明实现的不同的方法可以同时应用，结果可以进行对比分析或相互校验、甄别正误、或对结果进行平均。

本发明可以建立完整严谨的锅炉联立方程组，可以考虑了CO、机械未燃烧碳等对成分平衡、能量平衡的影响，形成了锅炉燃烧精确的数学模型，从而得到了更好的煤的元素分析结果。由于锅炉效率计算是以煤的元素分析结果为依据的，所以本发明对锅炉的各项损失和效率的计算更接近实际。由于元素C含量的结果是较接近真实的，根据经验公式得到的挥发份值具有实际应用

价值。根据本发明得到的挥发份、排烟损失、不完全燃烧损失，可以直接指导锅炉燃烧调整。根据本发明得到的锅炉效率计算结果，可以用于锅炉运行质量的评价和设备状态的诊断。

由于本发明得到的数据具有实时性、代表性和真实性，不仅实现了锅炉效率和煤质的实时在线监测，而且同时实现了发电机组发电耗煤、发电成本的实时在线精确监测。

本发明涵盖了任何假设条件下的简化、近似解决方案。例如忽略烟气中的 CO 成分或灰渣中的未燃尽碳，仅需要假设该项测量数据为零或常数。排烟损失简化计算，假设各种气体的比热值为常数即可。不计空气水分，仅需设空气水分为零。

本发明引入了煤的成分模型作为独立给定条件，这些模型充分运用了煤碳行业的研究成果，具有坚实的科学基础。已有的研究认为煤炭是植物化石，其中的灰分 A 与煤矿及开采位置有关，水分 M 与存储、运输有关，因此对于一个煤矿的煤仍然是会明显变化的；硫分 S 与矿藏受到海水的侵蚀有关，因此对于不同的矿差异较大，有随机性；C、H、O、N 成分是由植物腐化形成的，其相对含量受煤龄的制约，褐煤、烟煤、贫煤、无烟煤的煤龄由短渐长，不同的煤种的回归方程是根据大量的煤质化验结果得到的，可以反映该煤种的规律。因此本发明提供的元素分析模型方法可以有效的监测同一个煤种多个煤矿提供的煤的煤质在线监测，工业分析模型方法满足同一个煤矿提供的煤的水分和灰分的变化。

由于本发明对于煤质的监测，是对总量的监测，因此煤质化验统计分析中煤质表现出的发散性将明显降低，回归方程的相关性较化验结果更好，相关系数会比本发明实施例中给出的明显提高，因此这种煤质的仿真技术具有良好的真实性。另者，对于锅炉燃烧提出煤质数据本身应该是总体平均数据，因此本发明的结

果较化验结果有更好的代表性。由于是对于锅炉运行连续在线监测，本发明具有可能意义上最好的实时性。

本发明一个重要的优点是可以进行系统标定。系统标定是指当煤质十分稳定时通过化验得到煤质数据，煤质数据可以用来校准关于煤质的经验公式，也作为已知量输入数学模型则可求出锅炉运行数据，求出的锅炉运行数据与实际运行数据进行校准。经过系统标定后，本发明的测量结果更具有工程准确性。对于元素分析模型方案方法采用门捷列夫方程作为煤的发热量公式的情况，由于该公式本身是煤的发热量或元素成分化验的检验标准，因此本发明实现的锅炉效率和煤质的误差，在工程上基本可以忽略。

本发明也是成功地将数值仿真技术引入了锅炉效率和煤质在线监测和分析领域。根据本发明实现的锅炉效率和煤质在线监测系统通常称为锅炉效率和煤质在线仿真系统，**Boiler Efficiency and Coal Online Simulator**，缩写为 BECos.

现有技术的误差包括方法误差、测量误差和模型误差。方法误差包括取样化验或方程组欠定造成的误差。测量误差即测量数据误差导致的监测结果误差。模型误差包括简化条件、给定条件和方程的近似因素造成的监测结果误差。

本发明仅有测量误差和模型误差，与现有技术相比本发明消除了取样化验或方程组欠定等造成的方法误差。模型误差中，方程的近似因素误差，包括散热损失方程用锅炉额定负荷与实际负荷的比反映散热损失等，给定条件误差包括煤的成分的给定条件与实际煤的成分的误差等。测量误差可以通过对每个测点的测量标定和系统标定降低。可以通过改进减小方程近似性，减少简化条件、给定条件相应增加测量限定条件，并降低测量误差使本发明的误差进一步降低，精度进一步提高。

通过正确实施本发明，正常维护本发明测量点的准确性，可以保证实时在线精确监测锅炉效率和煤质。为锅炉诊断、控制依据、成本跟踪、煤质校核、管理参考提供可靠的监测数据，而且可以取代传统的耗费大量人力物力的锅炉效率试验和日常煤质化验。

本发明不仅从理论到实际从根本上完整回答了解决了化石燃料换能设备的实时在线监测的方案，实现了用完整严谨的数学模型得到化石燃料成分、发热量、换能设备效率及损失唯一解的工程解决方案，而且提出的方案可以在各种不同的已知条件下进行监测。由于本发明得到的数据具有实时性、代表性和真实性，实现了大型化石燃料电站监测和优化控制系统技术的重大的实质性突破。

具体实施方式

本发明给出了化石燃料物质及换能设备损失的联合求解或集成实时在线监测的方法的集合。实现本发明的方式包括用于离线仿真、在线仿真和在线监测。在线监测是最重要的实现方式。

在线监测实现本发明装置的最好方式是，采用独立的计算机作为一个站点挂接在 DCS 局域网络，通过实施数据库取得测量限定条件所需的全部测量数据，每十秒钟进行一次运算，包括将上十秒的输入数据进行平均值滤波，求解方程组，并将计算结果即监测数据送给实时数据库。

应用本发明方法的最好方式需要考虑下列三方面因素，以决定在本发明提供的方法集合中选择最适用的技术方案：例如，煤粉燃烧锅炉。

①被测设备及其原有测量系统的条件：

直吹式，通常总进煤量和总进风量（包括测算漏风量）可以

采用原测点解决；

中储式，通常总进煤量和总进风量不能取得有效测量数据，需要考虑增加烟尘侧测量才能保证同样数量的测量限定条件；

机组容量，大机组可以倾向于采用增加测量限定条件，小机组可以倾向于选择增加给定条件；

尽量采用原有测量系统已有的测点达到测量限定条件数量。例如原有烟气在线监测装置，可能已有烟气 CO、CO₂、SO₂，烟气流量在线监测，但是有些测点位于脱硫装置之后，如果能够通过忽略或反推脱硫过程对数据的影响，而且能达到精度要求则可以采用；

②应用本发明的目的，需要达到的精度：

下列目的需要的精度由高向低变化：

锅炉诊断；

控制依据；

成本跟踪；

煤质校核；

管理参考；

③必要时应考虑增加锅炉测量项目即测量限定条件来达到监测目的：

下列测量项目涉及到较专业化的测量，可能原测量系统没有：

飞回含碳量在线监测；

烟气水分在线监测；

烟气 CO 在线监测；

烟气 CO₂ 在线监测；

烟气 SO₂ 在线监测；

烟气监测与环保监测不同的是测点位置应在烟气处理装置之前。

对于精度要求高的状况，应采用元素分析煤质模型方案，即本发明实现方法第三至十方面所述方案；对于精度要求低的情况，应采用工业分析煤质模型方案，即本发明实现方法第十一至十四方面所述方案。

本发明的全部实现方式均为锅炉燃烧平衡方程组的构建和已知量、未知量的选择问题，通过本说明书和给出的五个实施例，本领域技术人员有能力根据工业现场条件和需求进行选择和实施。

关于煤质元素分析成分回归方程：

元素 C、O 之间成分的回归方程为 $O_{ar}=A_1C_{ar}+B_1$ ，适用于烟煤和褐煤，其中对于烟煤 $A_1=0.9$, $B_1=85.0$ ，相关系数 $\gamma=0.98$ ；对于褐煤 $A_1=0.84$, $B_1=80.38$ ，相关系数 $\gamma=0.95$ 。

所述的元素 H、N 之间成分的回归方程为 $N_{ar}=A_2H_{ar}+B_2$ ，其中 $A_2=0.3$, $B_2=0$ 。

元素 C、H 之间成分的回归方程为 $H_{ar}=A_3C_{ar}+B_3$ ，适用于无烟煤和烟煤，其中对于无烟煤 $A_3=0.448$, $B_3=44.73$ ，相关系数 $\gamma=0.83$ ；对于烟煤 $A_3=0.24$, $B_3=26.1$ ，相关系数 $\gamma=0.72$ 。

挥发份 V 与元素 C 成分的回归方程为 $V_{ar}=A_4C_{ar}+B_4$ ，其中对于烟煤 $A_4=2.52$, $B_4=247.8$ ，相关系数 $\gamma=0.86$ ；对于无烟煤 $A_4=1.087$, $B_4=107.5$ ，相关系数 $\gamma=0.86$ ；对于褐煤 $A_4=1.14$, $B_4=129.9$ ，相关系数 $\gamma=0.74$ 。

本发明实施例中，原煤和空气的输入温度为 t_0 ，排烟温度为 θ_{py} ，炉渣温度和比热取常数。

本发明的实施例一：

根据本发明的元素模型方案本实施例所采用的十个条件为：

①元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。见（12）式。

②制粉系统的热平衡。计算出 M_{ar} 。

③煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。见(2)式。

④实测锅炉烟气的 SO_2 , 得到的有煤中的 S 成分与烟气中的 SO_2 成分相对映表达式。见(5)式。

⑤元素(例如 H、N)之间成分的回归方程或经验公式。见(4)式。

⑥元素(例如 C、O)之间成分的回归方程或经验公式。见(3)式。

⑦实测锅炉烟气的 O_2 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(6)、(7)、(8)、(9)式。

⑧实测锅炉烟气的 CO_2 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(10)、(11)式。

⑨实测锅炉烟气的 CO 得到的有效成分表示的相应表达式。见(7)、(10)式。

⑩实测锅炉飞灰含碳测量得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(8)式。

给煤系统测量得到的总煤量 B,

主蒸汽流量 D、主蒸气温度 t, , 再热蒸汽流量 D、再热入口蒸汽温度 t'、再热出口蒸气温度 t" 等常规热力数据, 计算出锅炉吸热量 BQ_1 ,

烟气测量得到的 O_2 , SO_2 , CO_2 , CO,

飞灰含碳量测量得到的 C_{fh} ,

根据飞灰份额 α_{fh} 炉渣含碳量 C_{lz} 的统计规律或平均值, 计算出未燃烧碳

$$C_{ub} = A_{ar} [(1 - \alpha_{fh}) C_{lz} / (1 - C_{lz}) + \alpha_{fh} C_{fh} / (1 - C_{fh})] \quad (1)$$

根据煤的元素成分表达式

$$C_{ar} + H_{ar} + O_{ar} + N_{ar} + S_{ar} + A_{ar} = 100 - M_{ar} \quad (2)$$

煤的元素含量之间的经验公式，对于烟煤

$$O_{ar}=A_1 C_{ar}+B_1 \quad (3)$$

$$A_1=0.9, B_1=85.0.$$

$$N_{ar}=A_2 H_{ar}+B_2$$

$$A_2=0.3, B_2=0. \quad (4)$$

用 S 元素含量计算干烟气量的表达式

$$V_{gy}=100 \times 0.007 S_{ar}/SO_2 \quad (5)$$

干烟气量与空气过量系数的关系

$$V_{gy}=(V_{gy}^0+(\alpha-1)V_{gk}^0) \quad (6)$$

其中

α 为空气过量系数(总空气量与以实际燃尽碳计算的干空气量之比)

$$\alpha=21/(21-79(O_2-0.5CO)/(100-(CO_2+SO_2+CO+O_2))) \quad (7)$$

V_{gk}^0 为考虑机械未燃尽碳，以应用基元素成分计算的理论燃烧所需的干空气量。

$$V_{gk}^0=0.0889(C_{ar}+0.375S_{ar})+0.265H_{ar}-0.0333O_{ar}-0.0889C_{ub} \quad (8)$$

V_{gy}^0 为考虑机械未燃尽碳，以应用基元素成分计算的理论燃烧产生的干烟气量。

$$V_{gy}^0=0.0889C_{ar}+0.03331S_{ar}+0.2094H_{ar}+0.008N_{ar} \\ -0.0263O_{ar}-0.0889C_{ub} \quad (9)$$

烟气成分与燃料特性系数的关系

$$CO_2+SO_2+O_2=21-\beta(CO_2+SO_2)-(0.605+\beta)CO \quad (10)$$

燃料特性系数

$$\beta=2.35(H_{ar}-0.126O_{ar}+0.038N_{ar})/(C_{ar}-C_{ub}+0.375S_{ar}) \quad (11)$$

煤的低位发热量与元素含量之间的经验公式

$$Q_{ar, net}=339C_{ar}+1028H_{ar}-109(O_{ar}-S_{ar})-25M_{ar} \quad (12)$$

烟气水分

$$V_{H20} = 0.0124M_{ar} + 0.1118H_{ar} + 0.0161\alpha V_{gk}^0 \quad (13)$$

各种烟气体积

$$V_{R02} = V_{gy}(CO_2 + SO_2) \quad (14)$$

$$V_{c0} = V_{gy}CO \quad (15)$$

$$V_{O2} = V_{gy}O_2 \quad (16)$$

$$V_{N2} = V_{gy}(100 - (CO_2 + SO_2 + CO + O_2)) \quad (17)$$

锅炉效率和各项损失的表达式

锅炉效率

$$\eta = Q_1 / Q_{ar,net} \quad (18)$$

排烟损失

$$q_2 = [(V_{R02}C_{C02} + V_{C0}C_{C0} + V_{N2}C_{N2} + V_{O2}C_{O2} + V_{H20}C_{H20}) \theta_{py} - \alpha V_{gk}^0 (C_{gk} + 0.0161C_{H20}) t_0] / Q_{ar,net} \quad (19)$$

化学不完全燃烧损失

$$q_3 = 126.4V_{gy}CO / Q_{ar,net} \quad (20)$$

机械不完全燃烧损失

$$q_4 = 328.66C_{ub} / Q_{ar,net} \quad (21)$$

散热损失

$$q_5 = q_e D_e / D \quad (22)$$

灰渣物理热损失

$$q_6 = A_{ar}[C_{fh}\theta_{py}\alpha_{fh} + 554(1-\alpha_{fh})] / 100Q_{ar,net} \quad (23)$$

锅炉热平衡方程

$$\eta + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 1 \quad (24)$$

以上 24 方程式，共有 24 变量（为 C_{ar} 、 H_{ar} 、 O_{ar} 、 N_{ar} 、 S_{ar} 、 V_{gk}^0 、 V_{gy}^0 、 V_{gy} 、 α 、 β 、 C_{ub} 、 A_{ar} 、 V_{R02} 、 V_{N2} 、 V_{O2} 、 V_{C0} 、 V_{H20} 、 $Q_{ar,net}$ 、 η 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 ），构成了锅炉燃烧联立方程组。锅炉燃烧联立方程组求解方法如下：

以实际经常使用的煤种的 A_{ar} 值作为变量 A_{ar} 的初始值, 根据(1)式求出 C_{ub} 的初始值(C_{ub})⁰。

设 $\delta=0.1$, $\xi=-1$, $\mu=-0.5$ 。

以下为多次逐渐逼近迭代求解过程, 设 $\sum q = \eta + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$, 设迭代次数为 i:

第一步: 将 $(A_{ar})^i$ 数据代入(1)式求出 $(C_{ub})^i$ 。

第二步: 将 $(C_{ub})^i$ 数据代入(8)、(9)式。

第三步: 将(5)式、(7)式、(8)式、(9)式代入(6)式, 根据(10)式求出 β , 将 β 代入(11)式, 此式与(2)式、(3)式、(4)式、(6)式构成 C_{ar} 、 H_{ar} 、 O_{ar} 、 N_{ar} 、 S_{ar} 的五元线性一次方程组, 直接求解得 $(C_{ar})^i$ 、 $(H_{ar})^i$ 、 $(O_{ar})^i$ 、 $(N_{ar})^i$ 、 $(S_{ar})^i$ 。

第四步: 将 $(C_{ar})^i$ 、 $(H_{ar})^i$ 、 $(O_{ar})^i$ 、 $(N_{ar})^i$ 、 $(S_{ar})^i$ 数据代入(6)式、(9)式、(12)式、(23)式, 得 $(Q_{ar,net})^i$ 、 $(q_1)^i$ 、 $(q_2)^i$ 、 $(q_3)^i$ 、 $(q_4)^i$ 、 $(q_5)^i$ 、 $(q_6)^i$ 。

第五步: 求 $\sum q - 1$,

若 $|\sum q - 1|^i \leq 0.001\%$, 则求解完成, 至第九步。

第六步: 若 $(\sum q - 1)^i (\sum q - 1)^{i+1} > 0$,

$|\sum q - 1|^i - |\sum q - 1|^{i+1} < 0$, 设 $\xi = 1$ 。

第七步: 若 $(\sum q - 1)^i - (\sum q - 1)^{i+1} < 0$, $\delta = \mu \delta$ 。

第八步: 设 $(A_{ar})^{i+1} = (A_{ar})^i + \xi \delta$, 返回第一步。

第九步: 逐渐逼近迭代求解过程结束。

挥发份计算:

$V_{ar} = A_4 C_{ar} + B_4$, 对于烟煤 $A_4 = -2.52$, $B_4 = 247.8$ 。

固定碳计算:

$C_{ar, GD} = 100 - (V_{ar} + A_{ar} + M_{ar})$ 。

本发明的实施例二:

根据本发明的元素模型方案本实施例所采用的十个条件为：

①元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。见（12）式。

②制粉系统的热平衡。计算出 M_{ar} 。

③煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。见（2）式。

④实测锅炉烟气的 SO_2 ，得到的有煤中的 S 成分与烟气中的 SO_2 成分相对映表达式。见（5）式。

⑤元素（例如 H、N）之间成分的回归方程或经验公式。见（4）式。

⑥元素（例如 C、H）之间成分的回归方程或经验公式。见下式。

$$H_{ar} = A_3 C_{ar} + B_3 \text{ 对于无烟煤 } A_3 = 0.448, B_3 = 44.73.$$

⑦实测锅炉烟气的 O_2 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见（6）、（7）、（8）、（9）式。

⑧实测锅炉烟气的 CO_2 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见（10）、（11）式。

⑨实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见（7）（10）式。

⑩实测锅炉飞灰含碳量测量得到的有煤的成分表示的相应表达式。见（8）式。

挥发份计算：

$$V_{ar} = A_4 C_{ar} + B_4, \text{ 对于无烟煤 } A_4 = -1.087, B_4 = 107.5.$$

固定碳计算：

$$C_{ar, GD} = 100 - (V_{ar} + A_{ar} + M_{ar}).$$

求解过程参见例一。

本发明的实施例三：

根据本发明的元素模型方案本实施例所采用的十个条件为：

①元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。见(12)式。

②制粉系统的热平衡。计算出 M_{ar} 。

③煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。见(2)式。

④实测锅炉烟气的 SO_2 , 得到的有煤中的 S 成分与烟气中的 SO_2 成分相对映表达式。见(5)式。

⑤元素(例如 H、N)之间成分的回归方程或经验公式。见(4)式。

⑥元素(例如 C、O)之间成分的回归方程或经验公式。见(3)式。

⑦实测锅炉烟气的 O_2 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(6)、(7)、(8)、(9)式。

⑧实测锅炉的飞灰量或煤的灰份得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(2)式。

⑨实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(7)(10)式。

⑩实测锅炉飞灰碳量测量得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(8)式。

求解过程参见例一。

挥发份计算:

$$V_{ar} = A_4 C_{ar} + B_4, \text{ 对于烟煤 } A_4 = -2.52, B_4 = 247.8.$$

固定碳计算:

$$C_{ar, GD} = 100 - (V_{ar} + A_{ar} + M_{ar}).$$

求解过程参见例一。

本发明的实施例四:

根据本发明的元素模型方案本实施例所采用的十个条件为:

①元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相

等。见(12)式。

②制粉系统的热平衡。计算出 M_{ar} 。

③煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。见(2)式。

④实测锅炉烟气的 SO_2 , 得到的有煤中的 S 成分与烟气中的 SO_2 成分相对映表达式。见(5)式。

⑤元素(例如 H、N)之间成分的回归方程或经验公式。见(4)式。

⑥元素(例如 C、O)之间成分的回归方程或经验公式。见(3)式。

⑦实测锅炉烟气的 O_2 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(6)、(7)、(8)、(9)式。

⑧元素(例如 C、H)之间成分的回归方程或经验公式。见下式。

$$H_{ar}=A_3C_{ar}+B_3, \text{ 对于烟煤 } A_3=-0.24, B_3=26.1.$$

⑨实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(7)(10)式。

⑩实测锅炉飞灰含碳量测量得到的有煤的成分表示的相应表达式。见(8)式。

求解过程参见例一。

挥发份计算:

$$V_{ar}=A_4C_{ar}+B_4, \text{ 对于烟煤 } A_4=-2.52, B_4=247.8.$$

固定碳计算:

$$C_{ar, GD}=100-(V_{ar}+A_{ar}+M_{ar}).$$

本发明的实施例五:

根据本发明的工业模型方案本实施例所采用的六个条件为:

①煤的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。见(37)式。

②制粉系统的热平衡。计算出 Mar。

③煤的总输入量与可燃基 R 与水、灰的和相等。见 (32) 式。

④实测锅炉烟气的 O₂ 得到的有煤的成分表示的相应表达式。见 (33)、(34)、(35)、(36) 式。

⑤实测锅炉烟气的 CO 得到的化学不完全燃烧损失。见 (41) 式。

⑥实测锅炉飞灰含碳量测量得到的有煤的成分表示的相应表达式。见 (35)、(36) 式。

根据飞灰份额 α_{fh} 炉渣含碳量 C_{lz} 的统计规律或平均值，计算出未燃烧碳 C_{ub}=A_{ar}[(1- α_{fh}) C_{lz}/ (1-C_{lz}) + $\alpha_{fh}C_{fh}/ (1-C_{fh})$] (31)

根据煤的元素成分表达式

$$R+A_{ar}=100-M_{ar} \quad (32)$$

干烟气量与空气过量系数的关系

$$V_{gy}=(V_{gy}^0+(\alpha-1)V_{gk}^0) \quad (33)$$

其中

α 为空气过量系数(总空气量与以实际燃尽碳计算的干空气量之比)

$$\alpha=21/ (21-O_2) \quad (34)$$

V_{gk}⁰ 为考虑机械未燃尽碳，以应用元素成分计算的理论燃烧所需的干空气量。

$$V_{gk}^0=K_1R-0.0889C_{ub} \quad (35)$$

K₁ 为每公斤可燃基燃烧需要的空气量，

V_{gy}⁰ 为考虑机械未燃尽碳，以应用基元素成分计算的理论燃烧产生的干烟气量。

$$V_{gy}^0=K_2R-0.0889C_{ub} \quad (36)$$

K₂ 为每公斤可燃基燃烧生成的干烟气量，

煤的低位发热量与元素含量之间的经验公式

$$Q_{ar,net} = K_3 R - 25 M_{ar} \quad (37)$$

K_3 为每公斤可燃基燃烧生成热量,

烟气水分 12

$$V_{H20} = 0.0124 M_{ar} + 0.1118 K_4 R + 0.0161 \alpha V_{gk}^0 \quad (38)$$

K_4 为每公斤可燃基氢元素含量,

锅炉效率和各项损失的表达式:

锅炉效率

$$\eta = Q_1 / Q_{ar,net} \quad (39)$$

排烟损失

$$q_2 = [V_{gy} C_{gy} \theta_{py} - \alpha V_{gk}^0 (C_{gk} + 0.0161 C_{H20}) t_0] / Q_{ar,net} \quad (40)$$

化学不完全燃烧损失

$$q_3 = 126.4 V_{gy} CO / Q_{ar,net} \quad (41)$$

机械不完全燃烧损失

$$q_4 = 328.66 C_{ub} / Q_{ar,net} \quad (42)$$

散热损失

$$q_5 = q_e D_e / D \quad (43)$$

灰渣物理散热损失

$$q_6 = A_{ar} [C_{fh} \theta_{py} \alpha_{fh} + 554 (1 - \alpha_{fh})] / 100 Q_{ar,net} \quad (44)$$

锅炉热平衡方程

$$\eta + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 1 \quad (45)$$

以上 15 方程式，共有 15 变量（为 R 、 V_{gk}^0 、 V_{gy}^0 、 V_{gy} 、 α 、 C_{ub} 、 A_{ar} 、 V_{H20} 、 $Q_{ar,net}$ 、 η 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 ），构成了锅炉燃烧联立方程组。

求解过程参见例一。

挥发份计算：

$$V_{ar} = K_5 R$$

K_5 为每公斤可燃基的挥发份含量。

对于不同的化石燃料，例如，油和气，其发热量均可以用(12)式来表达，可以根据必要的情况进行系数上的调整。对于燃烧的生成物，可以忽略氢气和碳氢化合物，因此可以用与上述实施例同样的模型和方法实现本发明。必要时对于氢气和碳氢化合物所造成的效率影响，可以根据实际测量的数据对于应用本发明得到的效率和燃料发热量的数据进行修正。对于气体燃料可以通过对于碳氢化合物等成分的必要经验关系根据本发明计算得到的元素成分换算出碳氢化合物、氮气、硫化氢、二氧化碳等分子成分含量百分比及容积百分比。

对于不同的换能设备，如煤粉燃烧锅炉、循环硫化床锅炉、整体煤气化联合循环发电设备、燃气轮机联合循环发电设备、燃料电池等，其能量平衡表达式根据过程本身工程实际数据建立。

对于锅炉燃烧原理及计算的技术，可参见清华大学教材《锅炉原理及计算(第三版)》(冯俊凯等著，2003年，科学出版社)第二章、第三章相关内容。

关于锅炉运行参数、排烟及飞灰成分的测量技术、计算机数据采集系统技术，可通过查阅应用国家的有关行业标准、工程技术资料、产品资料，包括通过互联网搜索得到充分的补充参考信息。

关于煤质的成分经验方程知识可根据应用国家原煤矿藏和煤种的资料或化验分析统计得到，对于中国煤矿原煤可参见《煤质学》(地质出版社，白凌仁，1989)等资料。

尽管上述技术属本领域普通技术人员应该掌握或通过日常工作可以实现的现有技术，由于本发明涉及多学科、多专业且涉及

广泛的煤粉锅炉运行、监测、分析的工程技术，申请人认为实现本发明可能需要多位本领域的相关技术人员合作完成。

权 利 要 求

1. 一种化石燃料换能设备的在线监测方法，通过测量换能设备的运行数据而实现化石燃料成分的实时监测，其特征在于所述在线监测方法包括以下步骤，

- a) 确定反应剂成分及其变量数；
- b) 确定化石燃料成分及其变量数；
- c) 确定生成物中的未燃尽生成物成分及其变量数；
- d) 确定化石燃料成分与发热量之间的关系；
- e) 根据燃烧过程的能量平衡关系和物质平衡关系，建立有关化石燃料成分、反应剂成分和生成物成分的方程组；
- f) 提供用于上述方程组的给定条件，其中所述给定条件是有关上述方程组中的变量的独立关系；
- g) 测量锅炉运行数据，对上述方程组的变量进行赋值，其中被赋值的变量数与上述的给定条件数之和等于反应剂成分变量数、化石燃料成分变量数以及未燃尽生成物成分变量数之和，以达到该程组的正定条件；
- h) 求解该方程组，获得化石燃料换能设备的实时监测数据。

2. 如权利要求 1 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征在于所述化石燃料是煤。

3. 如权利要求 2 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征在于所述化石燃料换能设备是燃煤锅炉，反应剂为空气：
在步骤 a) 中，空气成分包括恒定比例的氧气、氮气和水蒸气，设定氢、二氧化碳、氩微量气体的含量为零；
在步骤 c) 中，设定灰渣比和炉渣含碳量的变化为零，设定

烟气中氮氧化物含量为零；

在步骤 b) 中，确定煤质的元素分析成分为 C、H、O、N、S、M、A；

在步骤 d) 中，所述关系为门捷列夫方程或其它由上述元素成分表达的煤的发热量经验方程；

在步骤 e) 中，根据燃烧过程的能量平衡关系：

煤的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和，制粉系统热平衡；

物质平衡关系：

元素 C 的量等于烟气中的 CO_2 、CO 成分与灰渣中的未燃尽碳所含元素 C 的量；元素 S 的量等于烟气中的 SO_2 成分所含元素 S 的量；烟气中的水蒸气质量等于 H 燃烧生成的水、空气中的水与煤中的 M 之和；空气氧气量与煤中的元素 O 生成的氧气量之和应于 SO_2 、 CO_2 、CO 氧化消耗的氧气量、元素 H 燃烧的氧气在与烟气中剩余的氧气之和；空气氮气量与煤中的元素 N 生成的氮气量之和应等于烟气中氮气量；锅炉的灰渣之和等于煤中的 A；

建立方程组。

在步骤 f) 中，所述给定条件为：

元素 H、N 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；

元素 C、O 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；以及

元素 C、H 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；。

在步骤 g) 中，测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件，达到该方程组的正定条件为：

在以下测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件下选择：

根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；

根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；

总进煤量；
总进风量；
干烟气量；
飞灰量、炉渣量或煤的灰份；
飞灰含碳量；
干烟气的 SO_2 含量；
干烟气的 O_2 含量；
干烟气的 CO 含量；
干烟气的 CO_2 含量；
干烟气的 N_2 含量；以及
烟气中水的含量。

4. 如权利要求 3 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征在于，在步骤 g) 中，所述测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件，达到该方程组的正定条件为：

在以下测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件中选择：

根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；

根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；

总进煤量；

总进风量；

干烟气量；

飞灰量、炉渣量或煤的灰份；

飞灰含碳量；

干烟气的 SO_2 含量；

干烟气的 O_2 含量；

干烟气的 CO 含量；

干烟气的 CO_2 含量；

干烟气的 N_2 含量；

烟气中水的含量；

根据给定条件的数量，在测量限定条件下选择与给定条件独立的且相互独立的测量限定条件，使给定条件与测量限定条件总数达到十个。

5. 如权利要求 4 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征在于，对于直吹式煤粉燃烧锅炉，所述的

给定条件选取以下三项中的两项：

元素 H、N 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；

元素 C、O 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；

元素 C、H 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；

测量的锅炉运行数据形成的限定条件选取以下七项：

根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；

根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；

总进煤量；

总进风量；

干烟气的 SO_2 含量；

干烟气的 O_2 含量；

干烟气的 CO 含量；

和以下多项中的一项；

干烟气的 CO_2 含量；

干烟气的 N_2 含量；

烟气中水的含量；

干烟气量；

飞灰含碳量。

6. 如权利要求 4 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征还在于，对于中储式煤粉燃烧锅炉，所述的给定条件选取以下三项中的两项：

元素 H、N 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；

元素 C、O 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；

元素 C、H 之间成分的回归方程、经验公式或设定关系；

测量的锅炉运行数据形成的限定条件选取以下七项：

根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；

根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；

干烟气的 SO₂ 含量；

干烟气的 O₂ 含量；

干烟气的 CO 含量；

和以下多项中的三项：

干烟气的 CO₂ 含量；

干烟气的 N₂ 含量；

烟气中水的含量；

干烟气量；

飞灰含碳量。

7. 如权利要求 3 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征还在于，对于烟煤，元素成分的回归方程、经验公式或设定关系选取：

元素 C、O 之间成分的回归方程；

元素 H、N 之间成分的回归方程。

8. 如权利要求 3 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征还在于，对于无烟煤，元素成分的回归方程、经验公式或

设定关系选取：

- 元素 C、H 之间成分的回归方程；
- 元素 H、N 之间成分的回归方程。

9. 如权利要求 3 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征还在于，对于褐煤，元素成分的回归方程、经验公式或设定关系选取：

- 元素 C、O 之间成分的回归方程；
- 元素 H、N 之间成分的回归方程。

10. 如权利要求 3 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征还在于根据煤的元素构成与挥发份的回归方程或经验公式，求出煤的挥发份工业分析结果。

11. 如权利要求 3 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征在于所述的：

所述方程组可以加入给定条件：

煤的可燃基中的 C、H、O、N、S 元素的任两项含量之间比例相对稳定；

每公斤可燃基燃烧需要的空气量；

每公斤可燃基燃烧生成的干烟气量；

每公斤可燃基燃烧生成的热量；

每公斤可燃基燃烧的氢元素含量。

12. 如权利要求 3 或 11 所述化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征还在于，所述测量锅炉运行数据形成方程组的限定条件，达到该方程组的正定条件为：

在以下测量锅炉运行数据形成方程组得限定条件下选择六个：

- 根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；
- 根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；
- 总进煤量；
- 总进风量；
- 干烟气量；
- 飞灰量、炉渣量或煤的灰份；
- 飞灰含碳量；
- 干烟气的 O₂ 含量；
- 干烟气的 CO 含量；
- 烟气中水的含量。

13. 如权利要求 12 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征还在于，对于直吹式煤粉燃烧锅炉，所述的测量的锅炉运行数据形成的限定条件选取以下六项：

- 根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；
- 根据制粉系统的煤量、通风量和温度计量得到煤的全水分 M；
- 总进煤量；
- 总进风量；
- 干烟气的 O₂ 含量；
- 干烟气的 CO 含量。

14. 如权利要求 12 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征还在于，对于中储式煤粉燃烧锅炉，所述的测量的锅炉运行数据形成的限定条件选取以下所列中的六项：

根据测量锅炉汽水参数计算得到锅炉的吸热量；
根据制粉系统的煤量、通风量和温度计算得到煤的全水分 M；
干烟气的 O₂ 含量；
干烟气的 CO 含量；
烟气中水的含量；
干烟气量。

15. 如权利要求 1 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征在于所述化石燃料是燃气。

16. 如权利要求 1 所述的化石燃料换能设备的在线监测方法，其特征在于所述化石燃料是燃油。

17. 一种化石燃料换能设备的在线监测装置，包括计算机、采集换能设备运行数据的数据输入通道、以及输出数据显示或输出通道，实现化石燃料换能设备的实时检测，其特征在于，所述在线监测装置包括：

存储反应剂成分、化石燃料成分、生成物成分、以及化石燃料成分与发热量之间的关系的装置；

用于根据燃烧过程的能量平衡关系和物质平衡关系，存储有关化石燃料成分、反应剂成分和生成物成分的方程组的装置；

用于提供用于上述方程组的给定条件的装置，其中所述给定条件是有关上述方程组中的变量关系的方程式；

用于根据测量锅炉运行数据对上述方程组的变量进行赋值以形成该程组的正定条件的装置，其中被赋值的变量数与上述的给定条件数之和等于反应剂成分变量数、化石燃料成分变量数以及未燃尽生成物成分变量数之和；以及

用于求解该方程组以获得化石燃料的实时监测数据的装置。

18. 根据权利要求 17 所述的化石燃料换能设备的在线监测装置，其特征在于所述化石燃料换能设备可以从下面的组中选择：煤粉燃烧锅炉、循环硫化床锅炉、整体煤气化联合循环发电设备、燃气轮机联合循环发电设备、以及燃料电池。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2005/000243

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC⁷ G01N35/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC⁷ G01N35/+ F22B35/+ F23N5/+

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

The Chinese patent document (1985-)

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT CNKI 监测 反应剂 空气 化石燃料 煤 燃气 燃油 生成物 平衡 正定

WPI EPODOC PAJ monitor+ reactant air +fuel coal gas oil product resultant balance positive definite

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN,A,1369712 (ZHONGSHI CO LTD SHANDONG) 18.SEP.2002 (18.09.2002) see entire document	1-18
A	DE,A1,19611110 (POETTERS ZITA) 23.OCT.1997 (23.10.1997) see entire document	1-18
A	JP,A,2106615 (HITACHI LTD. ETAL) 18.APR.1990 (18.04.1990) see entire document	1-18

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim (S) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15.APR.2005 (15.04.2005)

Date of mailing of the international search report
11 · MAY 2005 · 05 · 2005

Name and mailing address of the ISA/CN
The State Intellectual Property Office, the P.R.China
6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District, Beijing, China
100088
Facsimile No. 86-10-62019451

Authorized officer
SUN, Yi
Telephone No. (86-10) 62085733



Facsimile No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2005/000243

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN,A,1369712	18.09.2002	CN,C,1164950	01.09.2004
DE,A1,19611110	23.10.1997	NONE	
JP,A,2106615	18.04.1990	JP,B2,2753839	20.05.1998

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2005/000243

A. 主题的分类IPC⁷ G01N35/00

按照国际专利分类表(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC⁷ G01N35/+ F22B35/+ F23N5/+

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

中国专利文献 (1985~)

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT CNKI 监测 反应剂 空气 化石燃料 煤 燃气 燃油 生成物 平衡 正定
 WPI EPODOC PAJ monitor+ reactant air +fuel coal gas oil product resultant balance positive definite

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN,A,1369712 (山东中实股份有限公司) 18.9 月 2002 (18.09.2002) 见全文	1—18
A	DE,A1,19611110 (POETTERS ZITA) 23.10 月 1997 (23.10.1997) 见全文	1—18
A	JP,A,2106615 (HITACHI LTD. 等) 18.4 月 1990 (18.04.1990) 见全文	1—18

 其余文件在 C 栏的续页中列出。 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期 15.4 月 2005 (15.04.2005)	国际检索报告邮寄日期 11·5月 2005 (11·05·2005)
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号: (86-10)62019451	受权官员 SUN, Yi 电话号码: (86-10) 62085733 

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2005/000243

检索报告中引用的专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN,A,1369712	18.09.2002	CN,C,1164950	01.09.2004
DE,A1,19611110	23.10.1997	NONE	
JP,A,2106615	18.04.1990	JP,B2,2753839	20.05.1998